

Đ**L****V****N** 289 : 2016

ÁP KẾ PÍTÔNG - QUY TRÌNH HIỆU CHUẨN

Pressure balances - Calibration procedure

HÀ NỘI - 2016

Lời nói đầu:

ĐLVN 289 : 2016 thay thế ĐLVN 211 : 2009.

ĐLVN 289 : 2016 do Ban kỹ thuật đo lường TC 10 “Phương tiện đo áp suất, lực và các đại lượng liên quan” biên soạn, Viện Đo lường Việt Nam đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng ban hành.

Áp kế pittông - Quy trình hiệu chuẩn

Pressure balances - Calibration procedure

1 Phạm vi áp dụng

Văn bản kỹ thuật này quy định quy trình hiệu chuẩn đối với:

- Áp kế pittông khí có phạm vi đo: $(0,0015 \div 7)$ MPa ở áp suất tuyệt đối và $(-0,1 \div 100)$ MPa ở áp suất tương đối, có độ chính xác đến 0,008 %.
 - Áp kế pittông dầu có phạm vi đo: $(-0,1 \div 500)$ MPa, có độ chính xác đến 0,008 %.
- dùng để kiểm định áp kế, huyết áp kế.

2 Giải thích từ ngữ

Các từ ngữ trong văn bản này được hiểu như sau:

2.1 Áp kế pittông chuẩn là thiết bị thể hiện, duy trì hoặc tái tạo đại lượng áp suất, được dùng làm mốc so sánh với các thiết bị đo lường áp suất có độ chính xác thấp hơn.

2.2 Điểm mốc cơ sở của phương tiện đo áp suất (Reference level – Ref. level) là mốc cơ sở để xác định áp suất chuẩn được tạo ra, được xác định ở đáy của pittông hoặc nhà sản xuất quy định.

2.3 Diện tích hiệu dụng là diện tích xuất hiện giữa cụm pittông-xylanh, khi áp kế pittông tạo được điểm áp suất chuẩn.

2.4 Vị trí giới hạn trên/dưới của pittông là vị trí khi pittông cao nhất/thấp nhất tại điểm áp suất được tạo ra.

2.5 UUT (Unit Under Test): Áp kế pittông cần hiệu chuẩn.

2.6 ĐKĐBĐ: Độ không đảm bảo đo.

3 Các phép hiệu chuẩn

Phải lần lượt tiến hành các phép hiệu chuẩn ghi trong bảng 1.

Bảng 1

TT	Tên phép hiệu chuẩn	Theo điều mục của quy trình
1	Kiểm tra bên ngoài	7.1
2	Kiểm tra kỹ thuật	7.2

ĐLVN 289 : 2016

TT	Tên phép hiệu chuẩn	Theo điều mục của quy trình
2.1	Kiểm tra phương của lực tác dụng và độ vuông góc của đĩa cân gốc với trục của pittông	7.2.1
2.2	Kiểm tra độ kín của hệ thống tạo môi trường áp suất	7.2.2
2.3	Kiểm tra thời gian quay tự do của pittông	7.2.3
2.4	Kiểm tra tốc độ hạ của pittông	7.2.4
2.5	Xác định độ nhạy của của UUT	7.2.5
3	Kiểm tra đo lường	7.3
3.1	Xác định khối lượng đĩa cân gốc, pittông, các quả cân của UUT	7.3.1
3.2	Xác định các thông số cơ bản của UUT	7.3.2

4 Phương tiện hiệu chuẩn

Các phương tiện dùng để hiệu chuẩn được nêu trong bảng 2.

Bảng 2

TT	Tên phương tiện dùng để hiệu chuẩn	Đặc trưng kỹ thuật đo lường cơ bản	Áp dụng cho điều mục của quy trình
1	Chuẩn đo lường		
	Áp kế pittông chuẩn	- Trường hợp UUT có độ chính xác < 0,01 %, ĐKĐBĐ < 1/2 sai số cho phép của UUT. - Trường hợp UUT có độ chính xác từ 0,01 % đến 0,02 %, ĐKĐBĐ < 1/3 sai số cho phép của UUT. - Trường hợp UUT có độ chính xác > 0,02 %, ĐKĐBĐ < 1/4 sai số cho phép của UUT.	7.3
2	Phương tiện đo		
2.1	Phương tiện đo chân không	- Phạm vi đo < 30 Pa abs; - Sai số: ± 5 %.	6.2; 7.3
2.2	Nhiệt kế	- Phạm vi đo (18 ÷ 28) °C; - Sai số cho phép: ± 0,2 °C.	6.2; 7.3
2.3	Ẩm kế	- Phạm vi đo: (20 ÷ 90) %RH; - Sai số cho phép: ± 10 %RH.	6.2; 7.3
2.4	Phương tiện đo áp suất khí quyển	- Phạm vi đo: (950 ÷ 1050) hPa abs; - Sai số cho phép: ± 0,3 hPa.	6.2; 7.3

TT	Tên phương tiện dùng để hiệu chuẩn	Đặc trưng kỹ thuật đo lường cơ bản	Áp dụng cho điều mục của quy trình
2.5	Phương tiện xác định vị trí đáy của pittông	- Phạm vi đo (0 ÷ 350) mm; - Sai số cho phép: ± 0,5 mm.	7.3
2.6	Phương tiện đo tốc độ hạ của pittông	- Phạm vi đo (0 ÷ 50) mm; - Sai số cho phép: ± 0,1 mm.	7.3
2.7	Đồng hồ bấm giây	- Sai số cho phép: ± 0,1 s	7.3
2.8	Nhiệt kế đo nhiệt độ của pittông/xy lanh	- Giới hạn đo trên đến 35 °C; - Sai số cho phép: ± 0,2 °C.	7.3
2.9	Bộ quả cân chuẩn	- Phạm vi đo đến 12 kg; - Sai số cho phép: ± 1 mg.	7.3
2.10	Cân so sánh	- Phạm vi đo đến 1 kg; - Sai số cho phép: ± 1 mg.	7.3
2.11	Cân so sánh	- Phạm vi đo đến 8 kg; - Sai số cho phép: ± 10 mg.	7.3
2.12	Cân so sánh	- Phạm vi đo đến 12 kg; - Sai số cho phép: ± 10 mg.	7.3
2.13	Ni vô	- Sai số cho phép: ± 2'	7.3
3	Phương tiện phụ		
3.1	Bàn gá hệ thống pittông/xy lanh, ống dẫn và đầu nối phù hợp.	- Chịu được áp suất lớn hơn giới hạn đo trên của UUT.	6.2; 7.3
3.2	Van thể tích không đổi	- Chịu được áp suất lớn hơn khả năng đo của UUT.	6.2; 7.3
3.3	Hệ thống tạo áp suất	- Tạo áp suất tối thiểu bằng giới hạn đo của UUT. - Phải kín, tăng hoặc giảm áp suất một cách đều đặn. Độ giảm áp của hệ thống tạo áp ở giới hạn đo trên không vượt quá 1 % trong thời gian 1 phút, sau khi đã chịu tải ở giới hạn đo trên 15 phút.	6.2; 7.3
3.4	Bơm hút chân không	- Tạo áp suất lớn hơn giới hạn đo dưới của UUT. - Phải kín, tăng hoặc giảm áp suất một cách đều đặn. Độ tăng áp suất của hệ thống ở giới hạn đo dưới không vượt quá 1 % trong thời gian 1 phút, sau khi đã chịu tải ở giới hạn đo trên 15 phút.	6.2; 7.3
3.5	Bơm tạo áp suất tuyệt	- Tạo được áp suất nhỏ hơn 20 Pa abs.	6.2; 7.3

TT	Tên phương tiện dùng để hiệu chuẩn	Đặc trưng kỹ thuật đo lường cơ bản	Áp dụng cho điều mục của quy trình
	đôi		
3.6	Nguồn điện	- Nguồn AC phù hợp với điện áp làm việc chuẩn, thiết bị đo phụ và UUT.	7.3
3.7	Van điều áp	- Điều áp suất tối thiểu bằng giới hạn đo của UUT.	6.2; 7.3
3.8	Bình phân ly	- Kín và chịu được áp suất lớn hơn giới hạn đo trên của UUT.	6.2; 7.3

5 Điều kiện hiệu chuẩn

Khi tiến hành hiệu chuẩn phải đảm bảo các điều kiện sau đây:

- Nhiệt độ hiệu chuẩn ($18 \div 28$) °C, nhiệt độ không được thay đổi quá 2 °C/h;
- Độ ẩm ≤ 80 % RH;
- Phòng hiệu chuẩn phải thoáng khí, không có bụi, các chất ăn mòn, không bị đốt nóng từ một phía và không có rung động;
- Kiểm soát cửa ra vào và các thao tác chuyển động, giữ cho áp suất không khí ổn định và không tạo ra các luồng không khí, nguồn nhiệt một phía ở quanh áp kế pittông;
- Phòng hiệu chuẩn không có bụi bẩn, các chất ăn mòn và rung động.

6 Chuẩn bị hiệu chuẩn

Trước khi tiến hành hiệu chuẩn phải thực hiện các công việc chuẩn bị sau đây:

6.1 Yêu cầu chung

- ĐKĐBĐ của chuẩn đo lường phải được công bố theo giá trị áp suất.
- Chuẩn đo lường phải có giới hạn đo và chức năng đo phù hợp với UUT và phải được liên kết tới chuẩn đo lường quốc gia.
- Đối với các áp kế pittông có ĐKĐBĐ $< 0,015$ % phải tiến hành đo nhiệt độ pittông-xylanh.
- Bơm tạo áp suất tuyệt đối được sử dụng cùng với thiết bị đo chân không để tạo môi trường áp suất tuyệt đối.
- Bơm hút chân không sử dụng khi hiệu chuẩn các UUT là áp kế pittông đo áp suất chân không hoặc áp suất tuyệt đối.

6.2 Nguồn áp suất:

6.2.1 Đối với áp suất khí:

- Sử dụng nguồn khí khô và sạch ở nhiệt độ gần nhiệt độ môi trường.
- Sử dụng van điều áp điều chỉnh áp suất vào cho tới giới hạn áp suất cần hiệu chuẩn.
- Làm sạch chất lỏng trong ống nối.

6.2.2 Đối với áp suất tuyệt đối:

- Sử dụng bơm cơ học, có bể lọc.
- Dùng bơm tạo áp suất tuyệt đối để tạo áp suất tuyệt đối nhỏ hơn 10 Pa ở buồng chân không.

- Đo áp suất chân không sau khi áp suất tuyệt đối trong buồng chân không đã ổn định
- 6.2.3 Đối với áp suất chất lỏng:**

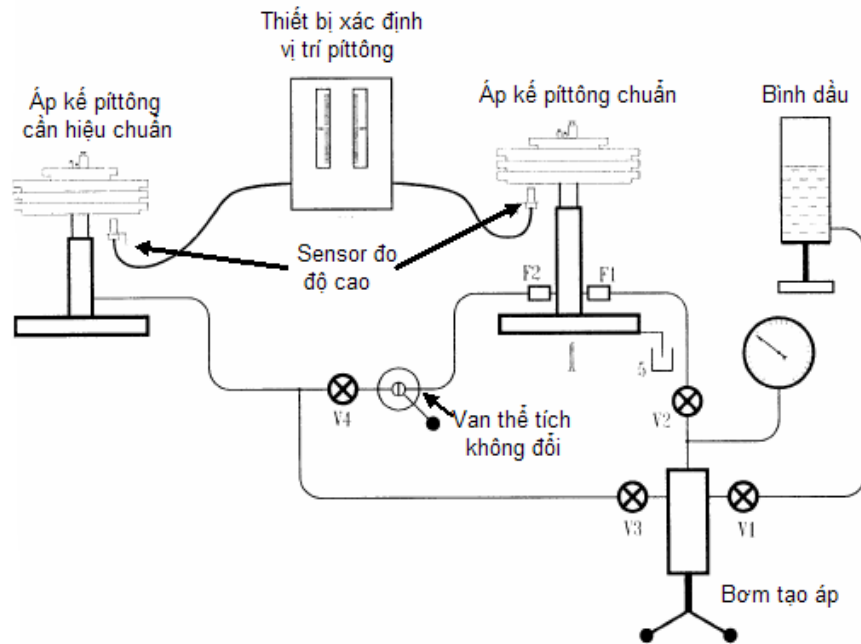
- Sử dụng chất lỏng theo khuyến cáo của nhà sản xuất.
- Có thể sử dụng bộ chuyển đổi chất lỏng/chất lỏng khi môi trường truyền áp suất của chuẩn và UUT khác nhau.
- Làm sạch các chất lỏng khác trong hệ thống.
- Loại bỏ các bọt khí trong hệ thống tạo áp suất.

6.3 Yêu cầu lắp đặt:

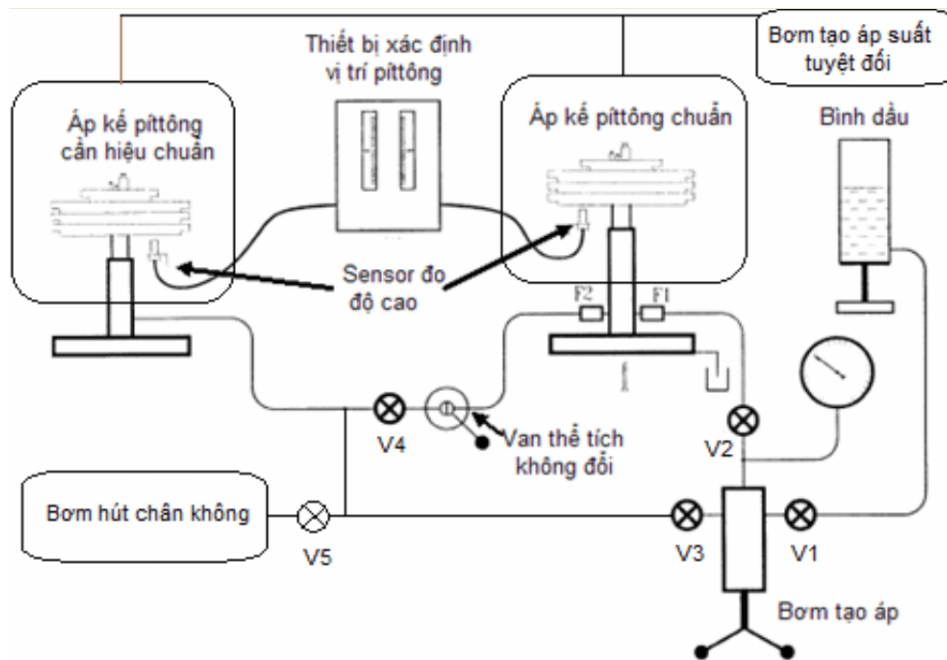
- UUT phải để trong phòng thí nghiệm ít nhất 12 giờ trước khi tiến hành hiệu chuẩn để đạt sự cân bằng nhiệt độ.
- Trong trường hợp cần thiết, tháo cụm pittông-xylanh ra khỏi hệ thống theo trình tự hướng dẫn kỹ thuật của nhà sản xuất, dùng xà phòng tinh khiết rửa sạch bề mặt pittông-xylanh, sau đó dùng vải khô mềm lau khô. Kiểm tra độ ăn mòn và các vết trầy xước bề mặt công tác của pittông-xylanh. Sử dụng dầu sạch để bôi trơn pittông-xylanh (áp dụng đối với áp kế pittông khí kiểu bôi trơn bằng dầu).
- Cách ly các thiết bị gây mất ổn định không khí như quạt thông gió, điều hoà.
- Lắp đặt và nối UUT với áp kế pittông chuẩn.
- Bàn đặt các áp kế pittông phải cứng, không có rung động khi đặt toàn bộ tải trọng, kiểm tra thẳng bằng nivô.
- Lắp đặt sao cho mức chênh lệch điểm mốc cơ sở áp suất của hai thiết bị là nhỏ nhất.
- Kiểm tra phương thẳng đứng của pittông theo khuyến cáo của nhà sản xuất: dùng nivô gắn trên thiết bị hoặc của phòng thí nghiệm đặt trên đĩa cân gốc để điều chỉnh. Đặt tất cả các quả cân lên đĩa cân gốc và đặt nivô lên trên cùng để kiểm tra lại.
- Dùng ống nối ngắn, tiết diện rộng (yêu cầu này quan trọng tại dải áp suất thấp).
- Làm sạch, lau khô các quả cân (đảm bảo không bám dính tạp chất).
- Đảm bảo các ống nối sạch và kín.
- Lắp đặt các ống nối thích hợp kiểm soát dòng chảy tự nhiên chất lỏng trong ống.
- Lắp đặt phương tiện đo nhiệt độ phù hợp vào hệ thống.
- Phải kiểm tra độ sạch của dầu. Nếu không đạt yêu cầu, phải đổ hết dầu trong hệ thống ra và nạp dầu mới vào hệ thống.
- Kiểm tra hoạt động áp kế pittông ở 50 % giới hạn đo trên. Nếu pittông hoạt động bình thường thì tiếp tục kiểm tra ở 100 % giới hạn đo trên.
- Xác định mốc cơ sở áp suất chuẩn của hai áp kế pittông. Mốc cơ sở này thường được xác định tại đáy của pittông khi ở pittông vị trí cân bằng. Chênh lệch chiều cao mốc cơ sở áp suất nên được giảm thiểu nhất có thể và sử dụng công thức (6); (7) để tính toán.
- Đối với áp suất tuyệt đối, phải dùng bơm chân không hút trước 30 phút để hơi nước thoát hết ra khỏi buồng. Dùng Nitơ khô làm chất khí công tác.

ĐLVN 289 : 2016

- Sơ đồ ghép nối áp kế pittông chuẩn với UUT: áp kế pittông chuẩn được ghép nối với UUT chế độ đo áp suất tương đối và tuyệt đối, bố trí theo hình 1 và hình 2.



Hình 1. Áp kế pittông chuẩn được ghép nối với UUT chế độ đo áp suất tương đối



Hình 2. Áp kế pittông chuẩn được ghép nối với UUT chế độ đo áp suất tuyệt đối

7 Tiến hành hiệu chuẩn

7.1 Kiểm tra bên ngoài

Phải kiểm tra bên ngoài theo các yêu cầu sau đây:

- UUT phải có đầy đủ các chi tiết thành phần.
- UUT có đầy đủ các kỹ mã hiệu, số chế tạo, hãng sản xuất, phạm vi đo và giá trị gia tốc trọng trường công bố của nhà sản xuất.
- Trên các quả cân được ghi khắc giá trị áp suất hoặc khối lượng danh nghĩa tương ứng. Các quả cân có cùng giá trị danh nghĩa phải có hình dáng, kích thước giống nhau, không bị rỉ, xước và không được bám dính vào nhau.

7.2 Kiểm tra kỹ thuật

Phải kiểm tra kỹ thuật theo các yêu cầu sau đây:

Trước khi tiến hành các phép kiểm tra kỹ thuật, phải lắp đặt và đưa UUT vào trạng thái sẵn sàng sử dụng (theo yêu cầu của mục 6.2)

7.2.1 Kiểm tra phương của lực tác dụng và độ vuông góc của đĩa cân góc với trục của pittông:

- Dùng bơm nén đưa pittông lên vị trí làm việc.
- Đặt nivô lên đĩa cân góc kiểm tra theo hai hướng vuông góc với nhau.
- Độ lệch vượt quá 5' thì phải điều chỉnh cho đạt yêu cầu.

7.2.2 Kiểm tra độ kín của hệ thống tạo môi trường áp suất.

Đối với UUT đo áp suất dư, tuyệt đối thì phải kiểm tra độ kín ở giới hạn đo trên, đối với UUT đo áp suất chân không thì phải kiểm tra độ kín ở giới hạn đo dưới.

Kiểm tra độ kín được tiến hành qua các bước sau:

- Sau khi đã tiến hành các bước kiểm tra 7.2.1, tạo áp suất tới áp suất giới hạn và chịu tải 15 phút. Độ giảm áp suất phải đạt yêu cầu quy định tại mục 3.3, mục 3.4 của bảng 2.
- Duy trì áp suất ở giá trị giới hạn, dùng đồng hồ bấm giây, 5 phút xác định tốc độ hạ của pittông đo, được kí hiệu là V_{t1} .
- Đóng van để tách biệt giữa hệ thống tạo áp và pittông/xy lanh. Chú ý phải chỉnh để pittông ở vị trí làm việc.
- Xác định tốc độ hạ của pittông đo (V_{t2}).
- Tốc độ hạ V_{t1} không được lớn hơn 110 % tốc độ hạ V_{t2} .

7.2.3 Kiểm tra thời gian quay tự do của pittông.

Thời gian quay tự do là khoảng thời gian mà pittông tự quay trong xy lanh đo sau khi nó đã đạt một vận tốc góc nhất định và không có ngoại lực tác dụng thêm.

Thời gian quay tự do của pittông được xác định trong các điều kiện sau:

- Môi trường truyền áp suất phải phù hợp với môi trường mà nhà sản xuất quy định.
- Ở áp suất bằng 20 % giới hạn đo trên.
- Vận tốc góc ban đầu là $(30 \pm 1,5)$ vòng/phút
- Ở nhiệt độ tiêu chuẩn của pittông/xy lanh hoặc lệch với nhiệt độ tiêu chuẩn được nhà sản xuất quy định.
- Xác định thời gian quay tự do khi pittông quay cùng chiều và ngược chiều kim đồng hồ.

ĐLVN 289 : 2016

Trường hợp chênh lệch nhiệt độ của pittông/xy lanh lớn hơn 3 °C so với nhiệt độ chuẩn, thời gian quay tự do được tính bằng công thức sau:

$$\tau = \tau_t \frac{\eta_t}{\eta} \quad (1)$$

Trong đó:

τ thời gian quay tự do ở nhiệt độ tiêu chuẩn (phút)

τ_t thời gian quay tự do ở nhiệt độ t (phút)

η độ nhớt động của môi trường truyền áp suất ở nhiệt độ tiêu chuẩn

η_t độ nhớt động của môi trường truyền áp suất ở nhiệt độ t

Sai số cho phép của các phép đo đối với:

- Thời gian quay tự do là: ± 10 s
- Nhiệt độ môi trường truyền áp suất là: $\pm 0,5$ °C
- Vận tốc góc ban đầu là: $\pm 1,5$ vòng/phút

Thời gian quay tự do phải lớn hơn hoặc bằng các giá trị trong bảng 3:

Bảng 3

Giới hạn đo trên (MPa)	Thời gian quay tự do (min) đối với UUT có độ chính xác (%)				
	0,005	0,02	0,05	0,1	0,2
Từ -0,1 đến 6	4	3	2	2	2
Lớn hơn 6	6	5	3	3	3

7.2.4 Kiểm tra tốc độ hạ của pittông

Tốc độ hạ của pittông được xác định trong các điều kiện sau:

- Môi trường truyền áp suất phải phù hợp với môi trường mà nhà sản xuất quy định.
- Ở áp suất 100 % giới hạn đo trên.
- Ở nhiệt độ tiêu chuẩn, hoặc lệch với nhiệt độ tiêu chuẩn mà nhà sản xuất cho phép.
- Pittông đo được khoá kín và tách biệt khỏi hệ thống tạo áp.

Trường hợp chênh lệch nhiệt độ pittông so với nhiệt độ tiêu chuẩn lớn hơn ± 2 °C, tốc độ hạ của pittông được tính bằng công thức sau:

$$V = V_t \frac{\eta_t}{\eta} \quad (2)$$

Trong đó:

V tốc độ hạ của pittông ở nhiệt độ tiêu chuẩn (mm/min)

V_t tốc độ hạ của pittông ở nhiệt độ t (mm/min)

η độ nhớt động của môi trường truyền áp suất ở nhiệt độ tiêu chuẩn.

η_t độ nhớt động của môi trường truyền áp suất ở nhiệt độ t .

Tốc độ hạ của pittông là giá trị trung bình của ba lần đo và không vượt quá 5 % so với giá trị quy định ở bảng 4.

Bảng 4

Môi trường truyền áp suất	Giới hạn đo trên P (MPa)	Tốc độ hạ (mm/min) đối với UUT có độ chính xác (%)				
		0,005	0,02	0,05	0,1	0,2
Khí	$0,0015 < P \leq 1$	1	1	2	2	-
Khí	$P > 1$	2	2	3	3	-
Chất lỏng	$-0,1 < P \leq 6$	0,4	0,4	1	2	3
Chất lỏng	$P > 6$	1,5	1,5	1,5	3	3

7.2.5 Xác định độ nhạy của của UUT

Độ nhạy của của UUT được xác định khi áp kế pittông chuẩn, UUT ở vị trí cân bằng ở áp suất bằng 10 % giá trị đo trên của đối tượng hiệu chuẩn. UUT được gọi là nhạy khi đặt một khối lượng tương đương với áp suất bằng 10 % sai số cơ bản lên pittông của UUT thì cân bằng áp suất bị phá vỡ và độ hạ của các pittông thay đổi rõ ràng.

7.3 Kiểm tra đo lường.

Áp kế pittông được kiểm tra đo lường theo các yêu cầu sau đây:

7.3.1 Xác định khối lượng đĩa cân gốc, pittông, các quả cân của UUT

Khối lượng đĩa cân gốc, pittông, các quả cân của UUT phải được xác định bằng cân chuẩn và quả cân chuẩn quy định tại mục 3.2. Sai số khối lượng tương đối của đĩa cân gốc, pittông, các quả cân của UUT không được vượt quá giá trị ghi ở bảng 5:

Bảng 5

Độ chính xác (%) của UUT	Giá trị sai số tương đối cho phép của khối lượng đĩa cân gốc, pittông đo, các quả cân của UUT
0,008	$0,5 \times 10^{-5}$
0,015	$1,5 \times 10^{-5}$
0,02	$1,5 \times 10^{-5}$
0,05	$5,0 \times 10^{-5}$
0,1	16×10^{-5}
0,2	16×10^{-5}

7.3.2 Xác định các thông số cơ bản của UUT

7.3.2.1 Các thông số cơ bản của của UUT bao gồm:

A_0 : Diện tích hiệu dụng của pittông (m^2);

λ : Hệ số dẫn nở áp suất (Pa^{-1}).

Các thông số cơ bản được xác định bằng phương pháp cân bằng thủy tĩnh.

ĐLVN 289 : 2016

7.3.2.2 Việc hiệu chuẩn phải tiến hành ở số các điểm đo phân bố trên toàn bộ thang đo khi tăng và giảm áp suất theo quy định tại bảng 6.

Bảng 6

Độ chính xác (%) của UUT	Số lượng điểm đo	Giá trị áp suất tính bằng phần trăm (%) so với giới hạn đo trên của UUT
0,008 ÷ 0,05	10	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
> 0,05	6	10 20 40 60 80 100

7.3.2.3 Khi cân bằng áp suất, chênh lệch chiều cao chất lỏng giữa hai đáy pittông của chuẩn và UUT phải được xác định chính xác, sao cho sai số do cột chất lỏng gây nên không được vượt quá 10 % sai số cho phép của UUT.

7.3.2.4 Trong quá trình cân bằng, pittông phải quay để đảm bảo nhậy và giảm ma sát. Các pittông ở vị trí cân bằng áp suất khi: tốc độ hạ của các pittông bằng tốc độ hạ xác định ở mục 7.2.6. và khi bỏ vào hoặc lấy đi một khối lượng tương đương với áp suất bằng 10 % sai số cho phép thì tốc độ hạ của các pittông thay đổi rõ rệt hay thế cân bằng bị phá vỡ.

7.3.2.5 Tính toán các thông số cơ bản của UUT.

- Áp suất chuẩn trong chế độ đo áp suất tương đối được tính theo công thức:

$$P_{i,s} = \frac{\sum_i M_{i,s} g \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{M,s}} \right) + \gamma C_s}{A_{o,s} (1 + \lambda_s P_{i,s}) \left[1 + (\alpha_{p,s} + \alpha_{c,s}) (t - t_r) \right]} + (\rho_f - \rho_a) gh \quad (\text{Pa}) \quad (3)$$

Trong đó:

$\sum M_{i,s}$ - Khối lượng của các quả cân, đĩa cân gốc, pittông chuẩn (kg);

$\rho_{M,s}$ - Khối lượng riêng của các quả cân, đĩa cân gốc, pittông chuẩn (kg/m^3);

$A_{o,s}$ - Diện tích hiệu dụng của pittông của áp kế pittông chuẩn (m^2);

λ_s - Hệ số dẫn nở do áp suất của pittông/ xy lanh chuẩn ($1/\text{Pa}$);

$\alpha_{p,s}$ - Hệ số dẫn nở nhiệt của pittông chuẩn ($1/^\circ\text{C}$);

$\alpha_{c,s}$ - Hệ số dẫn nở nhiệt của xy lanh chuẩn ($1/^\circ\text{C}$);

t_s - Nhiệt độ của pittông/xy lanh chuẩn ($^\circ\text{C}$);

t_{ref} - Nhiệt độ tiêu chuẩn: 23°C ;

γ - Hệ số sức căng bề mặt của chất lỏng (N/m);

C_s - Chu vi của pittông chuẩn (m);

ρ_f - Khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m^3);

h - Chênh lệch chiều cao cột chất lỏng giữa hai đáy của pittông chuẩn và pittông của UUT (m);

ρ_a - Khối lượng riêng của không khí được tính theo công thức sau:

$$\rho_a = \frac{3,4844 P_{at} - H(0,00252 t - 0,020582)}{1000(t + 273,16)} \quad (4)$$

- P_{at} - Áp suất khí quyển (Pa);
 H - Độ ẩm tương đối của môi trường không khí (%);
 t - Nhiệt độ môi trường không khí ($^{\circ}C$);
 g_i - Gia tốc trọng trường nơi đo.

- Áp suất chuẩn trong chế độ đo áp suất tuyệt đối, đo áp suất được biểu diễn như sau:

$$P_{abs} = P_{i,s} + \mu \quad (Pa) \quad (5)$$

Trong đó:

P_{abs} là áp suất tuyệt đối tại đáy pittông (Pa);

μ là phần áp suất dư trong buồng chân không tuyệt đối;

Vị trí đáy của pittông khi cân bằng là trùng với với mốc cơ sở áp suất khi cân bằng. Đặc biệt chú ý khi sử dụng phương pháp hiệu chuẩn cho loại thiết bị này.

Khi áp suất p_m biểu diễn tại điểm khác mốc cơ sở áp suất, cần có điều chỉnh (áp suất bù) được thêm vào, áp suất được biểu diễn như sau:

$$\text{Đối với áp suất tương đối: } p_m = p_e + (\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot \Delta h \quad (Pa) \quad (6)$$

$$\text{Đối với áp suất tuyệt đối: } p_m = p_{abs} + \rho_f \cdot g \cdot \Delta h \quad (Pa) \quad (7)$$

Trong đó: Δh là chiều cao chênh lệch mốc cơ sở giữa 2 áp kế pittông

Diện tích hiệu dụng của pittông của UUT ở áp suất P_i được tính bằng:

$$A_{t,i} = \frac{\sum_i M_{i,t} g \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{M_{i,t}}} \right) + \gamma C_t}{P_{s,i} [1 + (\alpha_{p,t} + \alpha_{p,t})(t_t - t_{ref})]} + \frac{(\rho_f - \rho_a) gh}{P_{s,i}} \quad (8)$$

$$\text{Và} \quad A_t = A_{o,t} (1 + \lambda_t P_s) \quad (9)$$

Từ các kết quả xác định khối lượng quả cân ở các điểm cân bằng áp suất, diện tích hiệu dụng $A_{o,t}$, hệ số dẫn nở áp suất pittông λ_t của UUT được tính theo phương pháp bình phương cực tiểu $Y = a + bX$ (xem phụ lục 2) như sau:

$$a = \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (10)$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (11)$$

Hệ số tương quan tuyến tính R được tính bằng:

$$R = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (12)$$

- Khi $R < 0,8$

$$A_{o,t} = \bar{A} = \frac{\sum A_i}{n} \quad (13)$$

$$\lambda = 0$$

- Khi $R \geq 0,8$

$$A_{o,t} = a \quad (14)$$

$$\lambda_t = \frac{b}{A_{o,t}} \quad (15)$$

8 Ước lượng ĐKĐBĐ của UUT**8.1 ĐKĐBĐ kiểu A:**

8.1.1 Trường hợp $R < 0,8$

ĐKĐBĐ kiểu A của diện tích hiệu dụng được tính bằng :

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} \quad (16)$$

ĐKĐBĐ kiểu A tính theo giá trị áp suất p được tính bằng:

$$u_A(p) = \frac{u_A}{A_{o,t}} \times p \quad (17)$$

8.1.2 Trường hợp $R \geq 0,8$

ĐKĐBĐ kiểu A của diện tích hiệu dụng được tính bằng:

Độ lệch chuẩn của Y là S_y :

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - a - bX_i)^2}{n-2}} \quad (18)$$

Độ lệch chuẩn của a là S_a :

$$S_a = S_y \times \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} \quad (19)$$

Độ lệch chuẩn của b là S_b :

$$S_b = S_y \times \sqrt{\frac{n}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} \quad (20)$$

Hệ tương quan $r(a,b)$ được tính:

$$r(a,b) = -\frac{\sum X_i}{\sqrt{n \sum X_i^2}} \quad (21)$$

Độ không đảm bảo kiểu A của diện tích hiệu dụng được tính bằng:

$$u_{Ai} = \sqrt{S_a^2 + X_i^2 S_b^2 + 2X_i S_a S_b r(a,b)} \quad (22)$$

ĐKĐBĐ kiểu A tính theo giá trị áp suất p được tính bằng:

$$u_{Ai}(p) = \frac{u_{Ai}}{A_{o,t}} \times p \quad (23)$$

8.2 ĐKĐBĐ kiểu B gồm:

- ĐKĐBĐ của áp suất chuẩn.
- ĐKĐBĐ của lực tác dụng lên pittông của UUT.

8.2.1 ĐKĐBĐ của giá trị áp suất chuẩn $u_s(p)$ gồm các thành phần được tính như sau:

1/ Độ lặp lại giá trị áp suất chuẩn $u_1(p)$ lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn hoặc lấy từ tính toán thực nghiệm cho từng điểm đo.

$$u_1(p) = p_{0,s} + \frac{U(p_s)}{p_s} \times p \quad (24)$$

Lưu ý: $p_{0,s}$ là độ lệch áp suất của chuẩn tại điểm áp suất $p = 0$ do các đại lượng ảnh hưởng gây ra.

2/ ĐKĐBĐ diện tích hiệu dụng $u_2(p)$ lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn ($k = 2$)

$$u_2(p) = \frac{p}{A_{o,s}} \times \frac{U(A_{o,s})}{k} \quad (25)$$

3/ ĐKĐBĐ hệ số dẫn nở áp suất $u_3(p)$ lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn ($k = 2$)

$$u_3(p) = -p^2 \times \frac{U(\lambda_s)}{k} \quad (26)$$

4/ ĐKĐBĐ khối lượng quả cân, pittông $u_4(p)$ lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn ($k = 2$)

$$u_4(p) = \frac{p}{M_s} \times \frac{U(M_s)}{k} \quad (27)$$

5/ ĐKĐBĐ nhiệt độ pittông/xy lanh $u_5(p)$. Nhiệt độ pittông/xy lanh đo trực tiếp với điều kiện nhiệt độ duy trì trong khoảng ± 1 °C và ĐKĐBĐ có thể được lấy bằng: $U(t) = 2$ °C.

$$u_5(p) = p \times (\alpha_{p,s} + \alpha_{c,s}) \times \frac{U(t)}{\sqrt{2}} \quad (28)$$

6/ ĐKĐBĐ hệ số dẫn nở nhiệt $u_6(p)$. ĐKĐBĐ của hệ số dẫn nở nhiệt có thể lấy bằng 10 % và độ lệch so với nhiệt độ chuẩn là 2 °C.

$$u_6(p) = p_s \times U(\alpha_{p,s} - \alpha_{c,s}) \times \frac{\Delta t}{2} \quad (29)$$

7/ ĐKĐBĐ gia tốc trọng trường $u_7(p)$ lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn. Trường hợp gia tốc trọng trường tính theo vĩ độ, độ cao so với mặt nước biển của nơi đo thì $U(g)$ có thể lấy bằng: $U(g) = 1.10^{-5} \times g$, $k = 3$

$$u_7(p) = \frac{p_s}{g} \times \frac{U(g)}{k} \quad (30)$$

Công thức tính gia tốc trọng trường theo vĩ độ và độ cao so với mặt nước biển:

$$g_1 = 9,7803184 \times \left\{ 1,0 + \left[0,0053024 \times \sin^2(\theta) \right] - \left[0,0000059 \times \sin^2(2\theta) \right] \right\} - 0,000003086 \times H \quad (31)$$

Trong đó: g_1 - Gia tốc trọng trường nơi đo (m/s^2)

θ - Vĩ độ nơi đo ($^\circ$)

H - Độ cao nơi đo so với mặt nước biển (m)

ĐLVN 289 : 2016

8/ ĐKĐBĐ khối lượng riêng không khí $u_8(p)$. Giá trị của khối lượng riêng không khí ở điều kiện tiêu chuẩn là $1,2 \text{ kg/m}^3$, nhưng do áp suất khí quyển, nhiệt độ môi trường, độ ẩm tương đối thay đổi nên khối lượng riêng không khí có thể thay đổi tối đa $\pm 5 \%$ và ĐKĐBĐ khối lượng riêng không khí có thể lấy bằng: $U(\rho_a) = 5,0 \cdot 10^{-2} \times \rho_a$, $k = 3$

$$u_8(p) = \frac{p}{(\rho_{M_s} - \rho_a)} \times \frac{U(\rho_a)}{k} \quad (32)$$

9/ ĐKĐBĐ chênh lệch chiều cao cột môi chất truyền áp suất (chất lỏng) $u_9(p)$, tối đa bằng:

$$U(\Delta h) = 2 \text{ mm}, k = 3$$
$$u_9(p) = \rho_f \times g \times \frac{U(\Delta h)}{k} \quad (33)$$

10/ ĐKĐBĐ lực tác dụng theo phương thẳng đứng $u_{10}(p)$. Lực tác dụng theo phương thẳng đứng: $F' = F \times \cos\theta$. Trong trường hợp khi $\theta < 0,5'$ ĐKĐBĐ theo θ ước lượng bằng:

$U(\theta) = 5,82 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ và lấy theo phân bố hình chữ nhật.

$$u_{10}(p) = p \times \sin\theta_s \times \frac{U(\theta_s)}{\sqrt{3}} \quad (34)$$

11/ ĐKĐBĐ khối lượng riêng các quả cân $u_{11}(p)$, $k = 2$

$$u_{11}(p) = \frac{p_s \times \rho_a}{\rho_{M_s}^2} \times \frac{U(\rho_{M_s})}{k} \quad (35)$$

12/ ĐKĐBĐ khối lượng riêng môi chất truyền áp suất $u_{12}(p)$, $k = 2$

$$u_{12}(p) = \frac{p_s \times A_{o,s} \times h}{M_s} \times \frac{U(\rho_f)}{k} \quad (36)$$

13/ ĐKĐBĐ chu vi pít tông $u_{13}(p)$, $k = 2$

$$u_{13}(p) = \frac{p_s \times \gamma}{g \times M_s} \times \frac{U(C_s)}{k} \quad (37)$$

14/ ĐKĐBĐ hệ số sức căng bề mặt $u_{14}(p)$, $k = 2$

$$u_{14}(p) = \frac{p \times C_s}{g \times M_s} \times \frac{U(\gamma)}{k} \quad (38)$$

ĐKĐBĐ tổng hợp giá trị áp suất chuẩn $u_s(p)$:

$$u_s(p) = \sqrt{u_1^2(p) + u_2^2(p) + \dots + u_{13}^2(p) + u_{14}^2(p)} \quad (39)$$

8.2.2 ĐKĐBĐ lực tác dụng lên pít tông của UUT $u_t(p)$ bao gồm:

1/ ĐKĐBĐ diện tích hiệu dụng $u_1(p)$ được lấy từ kết quả hiệu chuẩn ($k = 2$)

$$u_1(p) = \frac{p \times U(A_{o,T})}{k \times A_{o,T}} \quad (40)$$

2/ ĐKĐBĐ hệ số dẫn nở áp suất $u_2(p)$ được lấy từ kết quả hiệu chuẩn ($k = 2$)

$$u_2(p) = -p^2 \times \frac{U(\lambda_T)}{k} \quad (41)$$

3/ ĐKĐBĐ khối lượng quả cân và pittông $u_3(p)$ được lấy từ kết quả hiệu chuẩn ($k = 2$)

$$u_3(p) = \frac{p}{M_T} \times \frac{U(M_T)}{k} \quad (42)$$

4/ ĐKĐBĐ nhiệt độ pittông/xy lanh $u_4(p)$, $U(t) = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$u_4(p) = p \times (\alpha_{p,T} + \alpha_{c,T}) \times \frac{U(t_T)}{\sqrt{2}} \quad (43)$$

5/ ĐKĐBĐ hệ số dẫn nở nhiệt $u_5(p)$. ĐKĐBĐ hệ số dẫn nở nhiệt có thể lấy bằng 10 % và độ lệch so với nhiệt độ chuẩn là $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$u_5(p) = p \times U(\alpha_{p,T} + \alpha_{c,T}) \times \frac{\Delta t}{2} \quad (44)$$

6/ ĐKĐBĐ gia tốc trọng trường $u_6(p)$, $k = 3$

$$u_6(p) = \frac{p}{g} \times \frac{U(g)}{k} \quad (45)$$

7/ ĐKĐBĐ khối lượng riêng không khí $u_7(p)$, $k = 3$

$$u_7(p) = \frac{p}{(\rho_{M_T} - \rho_a)} \times \frac{U(\rho_a)}{k} \quad (46)$$

8/ ĐKĐBĐ lực tác dụng so với phương thẳng đứng $u_8(p)$.

$$u_8(p) = p \times \sin\theta_T \times \frac{U(\theta_T)}{\sqrt{3}} \quad (47)$$

9/ ĐKĐBĐ khối lượng riêng các quả cân $u_9(p)$, $k = 2$

$$u_9(p) = \frac{p \times \rho_a}{\rho_{M_T}^2} \times \frac{U(\rho_{M_T})}{k} \quad (48)$$

10/ ĐKĐBĐ chu vi pittông $u_{10}(p)$, $k = 2$

$$u_{10}(p) = \frac{p \times \gamma}{g \times M_T} \times \frac{U(C_T)}{k} \quad (49)$$

11/ ĐKĐBĐ hệ số sức căng bề mặt $u_{11}(p)$, $k = 2$

$$u_{11}(p) = \frac{p \times C_T}{g \times M_T} \times \frac{U(\gamma)}{k} \quad (50)$$

8.2.3 ĐKĐBĐ tổng hợp của lực tác dụng lên pittông của đối tượng hiệu chuẩn $u_{BT}(p)$:

$$u_t(p) = \sqrt{u_2^2(p) + u_3^2(p) + \dots + u_{10}^2 + u_{11}^2(p)} \quad (51)$$

8.2.4 ĐKĐBĐ tổng hợp

$$u_c(p) = \sqrt{u_A^2(p) + u_s^2(p) + u_t^2(p)} \quad (52)$$

ĐLVN 289 : 2016

8.2.5 ĐKĐBĐ mở rộng

$$U_{\text{exp}}(p) = k \times u_c(p) \quad (k = 2) \quad (53)$$

8.3 Sai số áp suất tính theo gia tốc trọng trường tại nơi đo (g_1) so với áp suất danh nghĩa (g_s)

$$\Delta p = \frac{M}{A_{o,t}} \times (g_s - g_1) \quad (54)$$

Nếu áp suất danh nghĩa trên quả cân được ghi khắc theo gia tốc trọng trường nơi đo thì sai số áp suất tính theo gia tốc trọng trường tại nơi đo (g_1) bằng 0.

8.4 Độ chính xác (sai số tương đối) của áp kế pittông tại nơi đo (g_1) được tính bằng:

$$\delta = \frac{\sqrt{(\Delta p)^2 + (U_{\text{exp}}(p))^2}}{p} \% \quad (55)$$

Nếu áp suất danh nghĩa trên quả cân được ghi khắc theo gia tốc trọng trường nơi đo thì độ chính xác của áp kế pittông tại nơi đo (g_1) được tính bằng:

$$\delta = \frac{U_{\text{exp}}(p)}{p} \% \quad (56)$$

9 Xử lý chung

9.1 Áp kế pittông sau khi hiệu chuẩn nếu đạt các yêu cầu quy định tại mục 7 và mục 8 thì được cấp chứng chỉ hiệu chuẩn (tem hiệu chuẩn, giấy chứng nhận hiệu chuẩn,...) theo quy định.

Trong giấy chứng nhận hiệu chuẩn phải công bố độ chính xác áp dụng gia tốc trọng trường tại nơi đo so với giá trị áp suất danh nghĩa theo mục 8.4 và các đặc trưng kỹ thuật sau:

- Khối lượng các quả cân, đĩa cân gốc; quy đổi ra áp suất theo gia tốc trọng trường nơi hiệu chuẩn.
- Công thức tính áp suất.
- Diện tích hiệu dụng $A_{o,t}$; ĐKĐBĐ mở rộng $A_{o,t}$, hệ số phủ k .
- Hệ số dẫn nở áp suất pittông λ_t của UUT.
- ĐKĐBĐ áp suất UUT.
- Gia tốc trọng trường và điều kiện môi trường nơi hiệu chuẩn.

9.2 Áp kế pittông sau khi hiệu chuẩn nếu không đạt một trong các yêu cầu trên thì không cấp chứng chỉ hiệu chuẩn mới và xóa dấu hiệu chuẩn cũ (nếu có).

9.3 Chu kỳ hiệu chuẩn của áp kế pittông là 24 tháng.

Tên cơ quan hiệu chuẩn
.....

BIÊN BẢN HIỆU CHUẨN
Số:

Tên chuẩn/phương tiện đo:

Kiểu: Số:

Cơ sở sản xuất: Năm sản xuất:

Đặc trưng kỹ thuật :

Cơ sở sử dụng:

Phương pháp thực hiện:

Chuẩn, thiết bị chính được sử dụng:

Điều kiện môi trường:

Nhiệt độ:..... Độ ẩm:

Chênh lệch chiều cao:..... Khối lượng riêng chất lỏng:.....

Người thực hiện: Ngày thực hiện:

Địa điểm thực hiện:

KẾT QUẢ HIỆU CHUẨN

1 Kiểm tra bên ngoài:

- Các thông số, giấy tờ: Đạt Không đạt
- Các chi tiết chính: Khối lượng Đạt Không đạt
- Pít tông/xy lanh đo Đạt Không đạt
- Bơm tạo áp Đạt Không đạt

2 Kiểm tra kỹ thuật:

2.1 Phương của lực tác dụng và độ kín

Các đặc trưng	Đạt	Không đạt
Kiểm tra phương thẳng đứng của lực tác dụng		
Kiểm tra độ vuông góc giữa đĩa cân góc và pít tông		
Kiểm tra độ kín		

2.2 Thời gian quay tự do

Nhiệt độ	Kết quả		Giá trị trung bình	Giá trị chuyển đổi
	Chiều đồng hồ	Ngược chiều		

2.3 Tốc độ hạ pittông

Nhiệt độ	Kết quả			Giá trị trung bình	Giá trị chuyển đổi
	Lượt 1	Lượt 2	Lượt 3		

3 Kiểm tra đo lường:

3.1 Khối lượng các quả cân

TT	Tên, mã số	Khối lượng hoặc áp suất danh nghĩa (kg)	Khối lượng quả cân (kg)			Sai số khối lượng quả cân (kg)
			Cân lần 1 (kg)	Cân lần 2 (kg)	Cân lần 3 (kg)	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
...						

3.2 Kết quả cân bằng áp suất

TT	Áp suất danh nghĩa	Chuẩn			ĐK môi trường			Đối tượng hiệu chuẩn		
		Quả cân đặt trên áp kế pittông chuẩn	Số gam thêm vào	Nhiệt độ pittông xilanh	Nhiệt độ môi trường	Độ ẩm	Áp suất khí quyển	Quả cân đặt trên đối tượng hiệu chuẩn	Số gam thêm vào	Nhiệt độ pittông xilanh
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

4 Kết luận:

Người soát lại

Người thực hiện

HƯỚNG DẪN ƯỚC LƯỢNG ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO LOẠI A TRONG HIỆU CHUẨN ÁP KẾ PÍT TÔNG

1 Sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất

Nếu coi giá trị chỉ thị trên dụng cụ chuẩn là X và giá trị chỉ thị trên dụng cụ đo là Y thì mối tương quan lý tưởng nhất giữa X và Y được biểu thị bằng biểu thức:

$$Y = X \quad (1)$$

Mỗi dụng cụ đo đều có một phạm vi sai số nhất định, nên một cách tổng quát mối tương quan giữa các giá trị chỉ thị trên chuẩn và trên dụng cụ đo được thể hiện bằng biểu thức:

$$Y = a + bX \quad (2)$$

Giả sử có các giá trị đo được ở n điểm đo phân bố đều trên toàn bộ thang đo, trên mặt phẳng XY được thể hiện bằng n cặp (X_i, Y_i) :

$$(X_1, Y_1) ; (X_2, Y_2); \dots (X_n, Y_n) \quad (3)$$

Vẽ một đường thẳng gần nhất với các điểm này sao cho tổng bình phương của các đoạn thẳng vuông góc với trục X nối từ các điểm đo đến đường thẳng trên là nhỏ nhất. Đường thẳng này được gọi là đường thẳng đồng quy của các giá trị Y đối với các giá trị X.

Phương pháp toán học của nó được Gauss phát minh và được gọi là phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Trên mặt phẳng XY, từ đường thẳng

$$Y = a + bX \quad (4)$$

Đoạn thẳng vuông góc đến các điểm (X_i, Y_i) là

$$| Y_i - (a + bX_i) | \quad (5)$$

Tổng bình phương của các đoạn thẳng vuông góc đến các điểm (X_i, Y_i) là q:

$$q = \sum (Y_i - (a + bX_i))^2 \quad (6)$$

Như vậy q là hàm số của a & b

Để q là nhỏ nhất thì đạo hàm riêng bậc nhất của q theo các tham số a & b phải bằng 0.

$$\frac{\partial q}{\partial a} = -2 \sum (Y_i - a - bX_i) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = -2 \sum X_i (Y_i - a - bX_i) = 0 \quad (8)$$

$$\text{Hay} \quad \sum (Y_i - a - bX_i) = 0$$

$$\sum Y_i = na + b \sum X_i \quad (9)$$

$$\sum X_i (Y_i - a - bX_i) = 0$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 \quad (10)$$

Mọi giá trị X_i không hoàn toàn nằm trên đường thẳng $Y = a + bX$ nên từ hệ phương trình

$$\sum Y_i = na + b \sum X_i$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 \quad (11)$$

Giải hệ phương trình (15) được

$$a = \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (12)$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (13)$$

Hệ số hoán vị R thể hiện mối tương quan giữa X và Y

Ta có: $Y = a + bX$

Nếu hoán vị $Y \Leftrightarrow X$ ta có:

$$X = a' + b'Y \quad (14)$$

$$b' = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2} \quad (15)$$

Khi X và Y không tương quan thì đường thẳng bình phương nhỏ nhất là đường thẳng nằm ngang (song song với trục hoành) và $b' = 0$.

Mặt khác:

$$X = a' + b'Y \quad \Rightarrow \quad (16)$$

$$Y = -\frac{a'}{b'} + \frac{1}{b'}X \quad (17)$$

Hay : $b \times b' = 1 \quad (18)$

Khi X và Y không tương quan thì $b = 0$; $b' = 0$.

Gọi R là hệ số tương quan tuyến tính thì;

$$R \equiv \sqrt{b \times b'} \quad (19)$$

$$a = -\frac{a'}{b'} \quad (20)$$

$$b = \frac{1}{b'} \quad (21)$$

$$R = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (22)$$

Giới hạn của hệ số tương quan tuyến tính là: $-1 \leq R \leq 1$

Nếu $R = \pm 1$ thì quan hệ tương quan giữa X và Y là hoàn toàn và tất cả các điểm đều nằm trên đường thẳng.

Nếu $R = 0$ thì giữa X và Y không có quan hệ tương quan.

2 Phân biệt hai trường hiệu chuẩn

2.1 Trường hợp $R < 0,8$:

Hầu như không có sự dẫn nở của pittông và xy lanh do áp suất, do đó $\lambda = 0$ hay $b = 0$, điều đó có nghĩa là dù áp suất có tăng thì diện tích hiệu dụng của pittông cũng không thay đổi. Nếu gọi áp suất tác dụng lên pittông là Y và diện tích của pittông là X thì giữa X và Y không có quan hệ tương quan.

Trường hợp này diện tích hiệu dụng của pittông được tính bằng trung bình cộng của diện tích pittông ở các điểm đo:

$$A_{o,t} = \bar{A} = \frac{\sum A_i}{n} \quad (23)$$

ĐKĐBĐ kiểu A trong trường hợp này được tính bằng:

$$U_A = \sqrt{\frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} \quad (24)$$

2.2 Trường hợp $R \geq 0,8$:

Dưới tác dụng của áp suất pittông và xy lanh bị dẫn nở, sự dẫn nở đó phụ thuộc vào áp suất tác dụng và diện tích hiệu dụng của pittông được tính theo công thức:

$$A_t = A_{ot} (1 + \lambda_t P) \quad (25)$$

Trường hợp này tương ứng với $R \geq 0,8$ của phương pháp bình phương cực tiểu.

Nếu coi diện tích hiệu dụng là Y và áp suất tác dụng là X ta có đường thẳng

$$Y = a + bX$$

như vậy: $A_{o,t} = a$ (26)

$$\lambda_t = \frac{b}{A_{o,t}} \quad (27)$$

$$a = \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (28)$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (29)$$

Độ lệch chuẩn của Y là S_y :

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - a - bX_i)^2}{n-2}} \quad (30)$$

Độ lệch chuẩn của a là S_a :

$$S_a = S_y \times \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} \quad (31)$$

Độ lệch chuẩn của b là S_b :

$$S_b = S_y \times \sqrt{\frac{n}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} \quad (32)$$

Ngoài ra giữa a và b có quan hệ tương quan được xác lập theo biểu thức:

$$r(a, b) = -\frac{\sum X_i}{\sqrt{n \sum X_i^2}} \quad (33)$$

Độ không đảm bảo kiểu A trong trường hợp này ($Y = a + bX$) là:

$$U_{Ai} = \sqrt{S_a^2 + X_i^2 S_b^2 + 2X_i S_a S_b r(a, b)} \quad (34)$$

3. Ví dụ

Tính ĐKĐBĐ trong hiệu chuẩn áp kế pittông

Chuẩn RUSKA 2465

$A_{os} (m^2) =$	$1,96 \times 10^{-4}$
$U(A_{os}) (m^2) =$	$3,73 \times 10^{-9}$
λ - hệ số nở pittông và xy lanh do áp suất (1/Pa)	$7,80 \times 10^{-14}$
Hệ số nhiệt của pittông và xy lanh chuẩn (1/°C)	$9,10 \times 10^{-6}$
Hệ số sức căng bề mặt (N/m)	0,03093
Khối lượng riêng của không khí (kg/m ³)	1,2
Khối lượng riêng các quả cân của chuẩn (kg/m ³)	8000
Khối lượng riêng các quả cân của áp kế đo (kg/m ³)	8000
Khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m ³)	912
Gia tốc trọng trường g (m/s ²)	9,78668927
Chiều cao cột chất lỏng (m)	0,089
Hệ số nhiệt của pittông và xy lanh đo (1/°C)	$9,10 \times 10^{-6}$

Áp suất chuẩn được tính theo công thức:

$$P = \frac{\sum M_{i,s} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,s}} \right) g_i + \gamma C_s}{A_{o,s} [1 + (\alpha_p + \alpha_c)_s (t_s - t_{ref})] (1 + \lambda_s P)} + \rho_{cl} g h_{cl} \quad (35)$$

$$A_t = A_{ot} (1 + \lambda P) \quad (36)$$

$$A_t = \frac{F_T}{P_s} \quad (37)$$

Áp suất chuẩn được tính theo công thức:

$$P_s = \frac{F_s}{A_{o,s} (1 + \lambda_s P)} + \rho_{cl} g h_{cl} \quad (38)$$

$$\text{Lực } F_s \text{ tác dụng lên pittông chuẩn: } F_s = \frac{\sum M_{i,s} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,s}} \right) g_i + \gamma C_s}{[1 + (\alpha_{p,s} + \alpha_{c,s})_t (t_T - t_{ref})]} \quad (39)$$

Trong đó:

$\sum M_{i,s}$: Khối lượng của các quả cân, đĩa cân gốc và pittông chuẩn (kg);

$\rho_{m,s}$: Khối lượng riêng của các quả cân, đĩa cân gốc và pittông chuẩn (kg/m³);

$A_{o,s}$: Diện tích hiệu dụng của áp kế pittông chuẩn (m²);

λ_s : Hệ số dẫn nở do áp suất của pittông và xy lanh chuẩn (1/Pa);

α_p : Hệ số dẫn nở nhiệt của pittông chuẩn (1/°C);

α_c : Hệ số dẫn nở nhiệt của xy lanh chuẩn (1/°C);

t_s : Nhiệt độ của pittông và xy lanh chuẩn (°C); $t_{ref} = 23$ °C;

γ : Hệ số sức căng bề mặt của chất lỏng (N/m);

C_s : Chu vi của pittông chuẩn (m);

ρ_{cl} : Khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m³);

h_{cl} : Chênh lệch chiều cao cột chất lỏng giữa hai đáy của pittông chuẩn và pittông cần hiệu chuẩn (m);

ρ_a : Khối lượng riêng của không khí là một hàm số của áp suất khí quyển, độ ẩm tương đối và nhiệt độ môi trường và được tính theo công thức sau:

$$\rho_a = \frac{3,4844 P_{at} - H(0,00252 t - 0,020582)}{1000(t + 273,16)} \quad (40)$$

P_{at} : Áp suất khí quyển (Pa);

H : Độ ẩm tương đối của môi trường không khí (%);

t : Nhiệt độ môi trường không khí (°C);

g_i : Gia tốc trọng trường nơi đo là hàm số của vĩ độ và độ cao so với mặt nước biển của nơi đo. Trường hợp không có giá trị thực của gia tốc trọng trường nơi đo ta có thể tính gần đúng giá trị đó theo công thức sau:

$$g_i = 9,7803184 \times \left\{ 1,0 + \left[0,0053024 \times \sin^2(\theta) \right] - \left[0,0000059 \times \sin^2(2\theta) \right] \right\} - 0,000003086 \times H \quad (41)$$

θ : Vĩ độ nơi đo;

h : Độ cao nơi đo so với mặt nước biển (m);

Lực F_t tác dụng lên pittông cần hiệu chuẩn:

$$F_t = \frac{\sum M_{i,t} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,t}} \right) g_i + \gamma C_t}{\left[1 + (\alpha_{p,t} + \alpha_{c,t})_t (t_t - t_{ref}) \right]} \quad (42)$$

Trong đó:

$\sum M_{i,t}$: Khối lượng của các quả cân, đĩa cân gốc và pittông cần hiệu chuẩn (kg);

$\rho_{m,s}$: Khối lượng riêng của các quả cân, đĩa cân gốc và pittông cần hiệu chuẩn (kg/m³) ;

α_p : Hệ số dẫn nở nhiệt của pittông cần hiệu chuẩn (1/°C);

α_c : Hệ số dẫn nở nhiệt của xy lanh cần hiệu chuẩn (1/°C);

C_t : Chu vi của pittông cần hiệu chuẩn (m).

Kết quả (xem bảng dưới đây)

Áp suất danh nghĩa (bar)	Chuẩn			Điều kiện môi trường			Đối tượng hiệu chuẩn		
	Quả cân số	Số gam thêm (g)	Nhiệt độ pít tông (°C)	Nhiệt độ môi trường (°C)	Độ ẩm (%RH)	Áp suất khí quyển (hPa)	Quả cân số	Số gam thêm (g)	Nhiệt độ pít tông (°C)
5,00	G.1.2.21.23.25.	128,5	19	19,2	60	1009,8	G.1	0	19
10,00	G.1.2.3.4.21.23.25.	154	19	19,3	60	1009,7	G.1.2.	0	19
15,00	G.1.2.3.4.5.6.21.23.25.	180	19	19,3	59	1009,6	G.1.2.3.	0	19
20,00	G.1.2.3.4.5.6.7.8.21.23.25.26.	6,5	19	19,4	59	1009,6	G.1.2.3.4.	0	19
25,00	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.21.23.25.26.	32,4	19	19,4	59	1009,6	G.1.2.3.4.5.	0	19
30,00	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.21.23.25.26.	58,6	19	19,5	59	1009,6	G.1.2.3.4.5.6.	0	19
35,00	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.21.23.25.26.	84,7	19	19,5	59	1009,5	G.1.2.3.4.5.6.7.	0	19
40,00	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.21.23.25.26.	111	19	19,6	59	1009,4	G.1.2.3.4.5.6.7.8.	0	19
45,00	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.17.18.21.23.25.26.	137	19	19,6	59	1009,3	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.	0	19
50,00	G..1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.17.18.19.20.21.23.25.26	160	19	19,7	59	1009,2	G.1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.	0	19

Tính diện tích hiệu dụng $A_t(p)$

	$M_s(\text{kg})$	$M_t(\text{kg})$	$F_s(\text{N})$	$A_{s0}(1+\lambda P) (\text{m}^2)$	$P (\text{Pa})$	$P_{\text{chất lỏng}}(\text{Pa})$	$P_{\text{standard}}(\text{Pa})$	$F_t(\text{N})$	$A_t(\text{m}^2)$
5,00	1,042860E+01	4,287040E+00	1,020550E+02	1,961400E-04	5,203190E+05	-7,943660E+02	5,211130E+05	4,195360E+01	8,050770E-05
10,00	2,045420E+01	8,403540E+00	2,001650E+02	1,961400E-04	1,020520E+06	-7,943660E+02	1,021320E+06	8,223740E+01	8,052100E-05
15,00	3,048030E+01	1,252020E+01	2,982800E+02	1,961400E-04	1,520750E+06	-7,943660E+02	1,521550E+06	1,225220E+02	8,052490E-05
20,00	4,050700E+01	1,663670E+01	3,964010E+02	1,961400E-04	2,021010E+06	-7,943660E+02	2,021800E+06	1,628070E+02	8,052550E-05
25,00	5,053300E+01	2,075340E+01	4,945150E+02	1,961400E-04	2,521230E+06	-7,943660E+02	2,522030E+06	2,030920E+02	8,052720E-05
30,00	6,055930E+01	2,487000E+01	5,926310E+02	1,961400E-04	3,021470E+06	-7,943660E+02	3,022260E+06	2,433770E+02	8,052800E-05
35,00	7,058550E+01	2,898660E+01	6,907470E+02	1,961400E-04	3,521700E+06	-7,943660E+02	3,522500E+06	2,836620E+02	8,052870E-05
40,00	8,061190E+01	3,310320E+01	7,888640E+02	1,961400E-04	4,021940E+06	-7,943660E+02	4,022740E+06	3,239470E+02	8,052900E-05
45,00	9,063880E+01	3,721990E+01	8,869870E+02	1,961400E-04	4,522210E+06	-7,943660E+02	4,523010E+06	3,642320E+02	8,052870E-05
50,00	1,006620E+02	4,133650E+01	9,850730E+02	1,961400E-04	5,022290E+06	-7,943660E+02	5,023090E+06	4,045170E+02	8,053160E-05

Tính ĐKĐBĐ kiểu A

n	$X_i(P_s)$	$Y_i(At)$	X_i^2	Y_i^2	$X_i Y_i$	$(Y_i - a - bX_i)^2$	u_A
1	5,211130E+05	8,050770E-05	2,715588E+11	6,481490E-09	4,195361E+01	8,744022E-17	2,487181E-09
2	1,021320E+06	8,052100E-05	1,043095E+12	6,483631E-09	8,223771E+01	4,543562E-18	2,109430E-09
3	1,521550E+06	8,052490E-05	2,315114E+12	6,484260E-09	1,225227E+02	1,775772E-17	1,774076E-09
4	2,021800E+06	8,052550E-05	4,087675E+12	6,484356E-09	1,628065E+02	8,978086E-18	1,509662E-09
5	2,522030E+06	8,052720E-05	6,360635E+12	6,484630E-09	2,030920E+02	8,287333E-18	1,358298E-09
6	3,022260E+06	8,052800E-05	9,134056E+12	6,484759E-09	2,433766E+02	3,464066E-18	1,358299E-09
7	3,522500E+06	8,052870E-05	1,240801E+13	6,484872E-09	2,836623E+02	5,529281E-19	1,509670E-09
8	4,022740E+06	8,052900E-05	1,618244E+13	6,484920E-09	3,239472E+02	5,991032E-19	1,774080E-09
9	4,523010E+06	8,052870E-05	2,045762E+13	6,484872E-09	3,642321E+02	8,362134E-18	2,109464E-09
10	5,023090E+06	8,053160E-05	2,523143E+13	6,485339E-09	4,045175E+02	3,271624E-18	2,487118E-09
Σ	2,772141E+07	8,052523E-04	9,749163E+13	6,484313E-08	2,232348E+03	1,432568E-16	

$$\begin{aligned}
 R &= 8,096097 \times 10^{-01} \\
 a &= 8,051516 \times 10^{-05} \\
 b &= 3,633474 \times 10^{-15} \\
 Sy &= 4,231678 \times 10^{-09} \\
 Sa &= 2,908036 \times 10^{-09} \\
 Sb &= 9,313569 \times 10^{-16} \\
 r(a,b) &= -8,878338 \times 10^{-01} \\
 u_{A,max} &= 2,487181 \times 10^{-09}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 l &= 4,512782 \times 10^{-11} \\
 U(\lambda) &= 1,156747 \times 10^{-11} \\
 u_A(P) &= 1,609762 \times 10^{-01} \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Tính ĐKĐBĐ kiểu B

1/ ĐKĐBĐ của chuẩn tại áp suất $p = 5,2111 \times 10^{+05}$ Pa

$u_i(p)$	Đại lượng	Giá trị đại lượng	Hệ số độ nhạy	Giá trị hệ số	$U(\text{đại lượng})$	$u_i(p)(\text{Pa})$	$u_i^2(p)(\text{Pa}^2)$
$u_1(p)$	P (Pa)	5,21E+05	$p_{0,s} + U(p_s)/p_s \times p$	4,06E-08	2,61E+01	1,06E-06	1,12E-12
$u_2(p)$	Ao (m ²)	1,96E-04	$p/2 * Ao$	1,33E+09	3,73E-09	4,96E+00	2,46E+01
$u_3(p)$	l (1/Pa)	7,80E-14	$p^{\wedge}2/2$	-1,36E+11	7,80E-15	-1,06E-03	1,12E-06
$u_4(p)$	M (kg)	1,04E+01	$p/2 * M$	2,51E+04	1,56E-05	3,91E-01	1,53E-01
$u_5(p)$	(t - t _{r,10f}) (°C)	-4,00E+00	$p * (\alpha_p + \alpha_c) / \sqrt{2}$	3,35E+00	2,00E+00	6,71E+00	4,50E+01
$u_6(p)$	(a _p + a _c) (1/°C)	9,10E-06	$p * (t-23)/2$	-1,04E+06	1,00E-07	-1,04E-01	1,09E-02
$u_7(p)$	g (m/s ²)	9,79E+00	$p/3 * g$	1,70E+06	1,00E-05	1,70E+01	2,89E+02
$u_8(p)$	r _a (kg/m ³)	1,20E+00	$p/3 * (r_M - r_a)$	2,17E+01	6,00E-02	1,30E+00	1,70E+00
$u_9(p)$	Dh (m)	-8,90E-02	$r_r * g/3$	2,98E+03	2,00E-03	5,96E+00	3,55E+01
$u_{10}(p)$	q (°)	5,00E-01	$p * \sin(\theta) / \sqrt{3}$	4,36E+02	5,82E-04	2,54E-01	6,43E-02
$u_{11}(p)$	r _M (kg/m ³)	8,00E+03	$p * r_a / 2 * r_M^2$	4,89E-03	2,00E+01	9,77E-02	9,55E-03
$u_{12}(p)$	r _r (kg/m ³)	9,13E+02	$p * A_o * Dh / 2 * M$	-4,37E-01	1,00E+01	-4,37E+00	1,91E+01
$u_{13}(p)$	C (m)	4,96E-02	$p * g / 2 * g * M$	7,91E+01	1,00E-03	7,91E-02	6,26E-03
$u_{14}(p)$	g (N/m ²)	3,09E-02	$p * C / 2 * g * M$	1,27E+02	1,00E-04	1,27E-02	1,61E-04
$\Sigma(u_i^2) = 4,15E+02 (\text{Pa})^2$							
$U_{s,B}(p) = 2,04E+01 (\text{Pa})$							

2/ ĐKĐBĐ của lực tác dụng lên pittông của đối tượng hiệu chuẩn tại áp suất
 $p = 5,2111 \times 10^{+05}$ Pa

$u_i(p)$	Đại lượng	Giá trị đại lượng	Hệ số độ nhạy	Giá trị hệ số	U(đại lượng)	$u_i(p)$ (Pa)	$u_i^2(p)$ (Pa ²)
$u_2(p)$	A_0 (m ²)	8,05E-05	$p/2 \cdot A_0$	2,10E+01	2,91E-09	6,10E-08	3,72E-15
$u_3(p)$	λ (1/Pa)	4,51E-11	$p^2/2$	1,36E+11	1,16E-11	1,57E+00	2,47E+00
$u_4(p)$	M (kg)	4,29E+00	$p/2 \cdot M$	1,12E+06	1,56E-05	1,74E+01	3,04E+02
$u_5(p)$	$(t - t_{r \times 10f})$ (°C)	-4,00E+00	$p \cdot (\alpha_p + \alpha_c) / \sqrt{2}$	3,35E+00	2,00E+00	6,71E+00	4,50E+01
$u_6(p)$	$(a_p + a_c)$ (1/°C)	9,10E-06	$p \cdot (t-23)/2$	-1,04E+06	1,00E-07	-1,04E-01	1,09E-02
$u_7(p)$	g (m/s ²)	9,79E+00	$p/3 \cdot g$	1,70E+06	1,00E-05	1,70E+01	2,89E+02
$u_8(p)$	r_a (kg/m ³)	1,20E+00	$p/3 \cdot (r_M - r_a)$	2,17E+01	6,00E-02	1,30E+00	1,70E+00
$u_{10}(p)$	q (°)	5,00E-01	$p \cdot \sin(\theta) / \sqrt{3}$	4,36E+02	5,82E-04	2,54E-01	6,43E-02
$u_{11}(p)$	r_M (kg/m ³)	8,00E+03	$p \cdot r_a / 2 \cdot r_M^2$	4,89E-03	2,00E+01	9,77E-02	9,55E-03
$u_{13}(p)$	C (m)	4,96E-02	$p \cdot g / 2 \cdot g \cdot M$	1,92E+02	1,00E-03	1,92E-01	3,68E-02
$u_{14}(p)$	g (N/m ²)	3,09E-02	$p \cdot C / 2 \cdot g \cdot M$	3,08E+02	1,00E-04	3,08E-02	9,49E-04
$\Sigma(u_i^2) = 6,42E+02$ (Pa) ²							
$U_{BT} = 2,53E+01$ Pa							

$$U_c(p) = 36,3 \text{ Pa}$$

$$U_{exp}(p) = 72,6 \text{ Pa} \quad (k = 2)$$

$$\text{Độ chính xác} = 0,0144 \text{ \%} \quad (k = 2)$$

3/ Kết quả cuối cùng

Diện tích hiệu dụng của pittông: $A_0 = (8,051516 \times 10^{-5} \pm 2,91 \times 10^{-9}) \text{ m}^2$

Hệ số dẫn nở áp suất: $\lambda = (4,5 \times 10^{-11} \pm 1,2 \times 10^{-11}) \text{ 1/Pa}$

ĐKĐBĐ: $u_c = 36,3 \text{ Pa} \quad (k = 2)$

$U_{exp}(p) = 72,6 \text{ Pa} \quad (k = 2)$

$$\Delta p = \frac{M}{A_0} \times (g_s - g_1) = 1062,8 \text{ Pa}$$

Độ chính xác: $d = 0,204 \text{ \%}$

VÍ DỤ VỀ ƯỚC LƯỢNG ĐKĐBĐ ÁP SUẤT CỦA ÁP KẾ PÍTÔNG

Đánh giá ĐKĐBĐ áp suất UUT rất quan trọng trong việc đánh giá khả năng đo của UUT, ĐKĐBĐ áp suất của UUT cho phép xác định được độ tin cậy của áp suất chuẩn được tạo ra từ UUT.

Thông số của UUT được hiệu chuẩn:

Áp kế pittông P3124-3 của hãng FLUKE, dải đo: (10 ÷ 10000) psi

A_{os} (m ²) =	4,03310×10 ⁻⁶
$U(A_{os})$ (m ²) =	6,2×10 ⁻⁷
λ - hệ số nở pittông và xy lạnh do áp suất (1/Pa)	4,2×10 ⁻¹²
Hệ số nhiệt của pittông và xy lạnh chuẩn (1/°C)	9,10×10 ⁻⁶
Hệ số sức căng bề mặt (N/m)	0,03093
Khối lượng riêng của không khí (kg/m ³)	1,2
Khối lượng riêng các quả cân của chuẩn (kg/m ³)	8000
Khối lượng riêng các quả cân của áp kế đo (kg/m ³)	8000
Khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m ³)	912
Gia tốc trọng trường g (m/s ²)	9,78668927
Chiều cao cột chất lỏng (m)	0,089
Hệ số nhiệt của pittông và xy lạnh đo (1/°C)	9,10×10 ⁻⁶

Theo tài liệu hướng dẫn của OIML, trong khi sử dụng áp kế pittông các thành phần ảnh hưởng lớn nhất là:

- Diện tích hiệu dụng chiếm khoảng 50 % độ chính xác
- Khối lượng và gia tốc trọng trường chiếm khoảng 40 % độ chính xác,
- Các thành phần còn lại chiếm khoảng 10 % độ chính xác,

Thông thường khi tính để công bố ĐKĐBĐ của chuẩn người ta sẽ tính tại điểm áp suất lớn nhất, Kết quả tính toán luôn cho thấy tại điểm này ĐKĐBĐ là lớn nhất, Ví dụ này sẽ tính toán ĐKĐBĐ của P31224-3 tại áp suất 689,7 bar.

1/ Độ lặp lại của giá trị áp suất chuẩn $u_1(p)$

Được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn hoặc lấy từ tính toán thực nghiệm ở từng điểm đo.

$$u_1(p) = a + b \times p$$

Khi hiệu chuẩn áp kế pittông thành phần này đã được tính đến khi công bố U_{A_0} , vì vậy có thể bỏ qua thành phần này.

$$u_1(p) = 0$$

2/ Độ không đảm bảo đo của diện tích hiệu dụng $u_2(p)$

Được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn với $k = 2$

$$u_2(p) = \frac{p}{A_{o,s}} \times \frac{U(A_{o,s})}{2}$$

Trong giấy chứng nhận hiệu chuẩn công bố $A_0 = 4,03278 \times 10^{-6}$

$$U(A_{o,s}) = A_0 \times 0,0072 \% = 4,03278 \times 10^{-6} \times 72 \times 10^{-6}$$

$P = 689,7 \text{ bar} = 68970000 \text{ (Pa)}$ tính cho điểm áp suất lớn nhất.

$$u_2(p) = (68970000 \times 4,03278 \times 10^{-6} \times 72 \times 10^{-6}) / (2 \times 4,03278 \times 10^{-6}) = 2483 \text{ (Pa)}$$

3/ Độ không đảm bảo đo của hệ số dẫn nở áp suất $u_3(p)$

Được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn với $k = 2$

$$u_3(p) = -p^2 \times \frac{U(\lambda_s)}{2}$$

Phương pháp tính hệ số giãn nở do áp suất là phương pháp thực nghiệm nên có sai số rất lớn có thể lấy độ không đảm bảo đo bằng 10 % giá trị công bố trong giấy chứng nhận.

Trong giấy chứng nhận hiệu chuẩn công bố:

$$\lambda_s = 3,44501 \times 10^{-12}$$

$$U(\lambda_s) = 10\% \times 3,44501 \times 10^{-12} = 3,44501 \times 10^{-13}$$

$$p = 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

Lắp vào công thức ta được $u_3(p) = 819,37 \text{ (Pa)}$

4/ Độ không đảm bảo đo của khối lượng quả cân, pít tông $u_4(p)$

Được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn với $k = 1$

$$u_4(p) = \frac{p}{M_s} \times \frac{U(M_s)}{k}$$

Tại điểm áp suất cao nhất $p = 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}$ ta phải đặt lên pít tông tất cả các quả cân

Trong giấy chứng nhận hiệu chuẩn nêu cộng hết số quả cân ta được khối lượng tổng

$$M_s = 28,93162 \text{ (kg)},$$

Các quả cân làm bằng vật liệu thép trắng sử dụng với áp kế piston độ chính xác 0,008 % có sai số cho phép là: $5 \times 10^{-5} \times m$

$$U(M_s) = 5 \times 10^{-5} \times 28,93162 = 0,001447 \text{ (kg)}$$

Thay các giá trị trên vào công thức ta được:

$$u_4(p) = 3449,5 \text{ (Pa)}$$

5/ Độ không đảm bảo đo của nhiệt độ pít tông/xy lanh $u_5(p)$

Nhiệt độ pít tông/xy lanh được đo trực tiếp với điều kiện nhiệt độ duy trì trong khoảng $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

và độ không đảm bảo đo có thể được lấy bằng: $U(t) = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$u_5(p) = p \times (\alpha_{p,s} + \alpha_{c,s}) \times \frac{U(t)}{\sqrt{2}}$$

Giấy chứng nhận của hãng FLUKE (hãng sản xuất) công bố:

$$\alpha_{p,s} = 4,55 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_{c,s} = 4,55 \times 10^{-6}$$

$$p = 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

Thay vào công thức ta có: $u_5(p) = 1099 \text{ (Pa)}$

6/ Độ không đảm bảo đo của hệ số dẫn nở nhiệt $u_6(p)$

Độ không đảm bảo đo của hệ số dẫn nở nhiệt có thể lấy bằng 10 % và độ lệch so với nhiệt độ chuẩn là $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$u_6(p) = p_s \times U(\alpha_{p,s} + \alpha_{pcs}) \times \frac{\Delta t}{2}$$

Với: $\Delta t = 2 \text{ }^\circ\text{C}$; $U(\alpha_{p,s} + \alpha_{c,s}) = 10\% \times (\alpha_{p,s} + \alpha_{c,s}) = 9,1 \times 10^{-7}$; $p = 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}$

Thay vào công thức ta được: $u_6(p) = 110$ (Pa).

7/ Độ không đảm bảo đo của gia tốc trọng trường $u_7(p)$

Được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn, Trường hợp gia tốc trọng trường tính theo vĩ độ, độ cao so với mặt nước biển của nơi đo thì $U(g)$ có thể lấy bằng: $U(g) = 1 \times 10^{-5} \times g$, $k = 2$

$$u_7(p) = \frac{p_s}{g} \times \frac{U(g)}{3}$$

Công thức tính gia tốc trọng trường theo vĩ độ và độ cao so với mặt nước biển

$$g_i = 9,7803184 \times \left\{ 1,0 + \left[0,0053024 \times \sin^2(\theta) \right] - \left[0,0000059 \times \sin^2(2\theta) \right] \right\} - 0,000003086 \times H$$

Trong đó: g_i : Gia tốc trọng trường nơi đo (m/s^2)

θ : Vĩ độ nơi đo ($^\circ$)

H: Độ cao nơi đo so với mặt nước biển (m)

Thông thường giá trị g chỉ ảnh hưởng đến khi tính giá trị áp suất thực. Khi công bố ĐKĐBĐ do g gây ra chênh lệch rất nhỏ, có thể bỏ qua. Gia tốc trọng trường tại nơi hiệu chuẩn:

$$g = 9,78668927 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$U(g) = 9,78668927 \times 10^{-5} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$p = 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

Thay vào công thức ta được: $u_7(p) = 3449$ (Pa)

8/ Độ không đảm bảo đo của khối lượng riêng không khí $u_8(p)$

Giá trị của khối lượng riêng không khí ở điều kiện tiêu chuẩn là $1,2 \text{ kg/m}^3$, nhưng do áp suất khí quyển, nhiệt độ môi trường, độ ẩm tương đối thay đổi nên khối lượng riêng không khí có thể thay đổi tối đa $\pm 5 \%$ và độ không đảm bảo đo của khối lượng riêng không khí có thể lấy bằng: $U(\rho_a) = 5,0 \times 10^{-2} \times \rho_a$, $k = 3$.

$$u_8(p) = \frac{p}{(\rho_{M_s} - \rho_a)} \times \frac{U(\rho_a)}{3}$$

$$\rho_a = 1,2 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{M_s} = 8000 \text{ (kg/cm}^3\text{)} \text{ khối lượng riêng quả cân làm bằng vật liệu thép trắng.}$$

Thay vào công thức ta được: $u_8(p) = 143,7$ (Pa).

9/ ĐKĐBĐ của chênh lệch chiều cao cột môi chất truyền áp suất $u_9(p)$

Độ không đảm bảo đo của chênh lệch chiều cao cột môi chất truyền áp suất (chất lỏng) tối đa bằng: $U(\Delta h) = 2 \text{ mm}$, $k = 3$.

$$u_9(p) = \rho_f \times g \times \frac{U(\Delta h)}{3}$$

$$\rho_f = 913 \text{ (kg/cm}^3\text{)} \text{ khối lượng riêng môi truyền áp suất.}$$

Đối với các piston/xy lanh dầu giá trị này thường là 913 kg/cm^3 . Tuy nhiên khi mua dầu có thể tra cứu giá trị này từ đơn vị bán, hoặc có thể gửi đi đo giá trị này.

$$U(\Delta h) = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

Thay vào công thức ta được: $u_9(p) = 913 \times 9,78668927 \times 0,002 / 3 = 5,95$ (Pa).

10/ Độ không đảm bảo đo của lực tác dụng theo phương thẳng đứng $u_{10}(p)$

Lực tác dụng theo phương thẳng đứng: $F' = F \times \cos\theta$, Trong trường hợp khi $\theta < 0,5'$ độ không đảm bảo đo theo θ được ước lượng bằng: $U(\theta) = 5,82 \times 10^{-4}$ rad và lấy theo phân bố hình chữ nhật.

$$u_{10}(p) = p \times \sin\theta_s \times \frac{U(\theta_s)}{\sqrt{3}}$$

Khi lắp các áp kế piston ta phải điều chỉnh để pittông được vuông góc, áp suất sẽ tác dụng theo phương thẳng đứng, tuy nhiên vẫn có sai số khoảng $0,5'$.

Khi đó:

$$\begin{aligned}U(\theta) &= 5,82 \times 10^{-4} \text{ rad} \\ \sin(0,5/60) &= 0,008333 \text{ (} 1^\circ = 60' \text{)} \\ p &= 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}\end{aligned}$$

Thay vào công thức ta được: $u_{10}(p) = 195 \text{ (Pa)}$.

11/ Độ không đảm bảo đo của khối lượng riêng các quả cân $u_{11}(p)$

$$u_{11}(p) = \frac{p \times \rho_a}{\rho_{Ms}^2} \times \frac{U(\rho_{Ms})}{2}$$

Trong công thức có:

$$\begin{aligned}p &= 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)} \\ \rho_a &= 1,2 \text{ (kg/cm}^3\text{)} \\ \rho_{Ms} &= 8000 \text{ (kg/cm}^3\text{)} \\ U(\rho_{Ms}) &= \text{lấy bằng } 5 \% \text{ của } 8000 = 40 \text{ (kg/cm}^3\text{)}\end{aligned}$$

Thay vào công thức ta được: $u_{11}(p) = 25,86 \text{ (Pa)}$.

12/ Độ không đảm bảo đo của khối lượng riêng môi chất truyền áp suất $u_{12}(p)$

$$u_{12}(p) = \frac{p \times A_{o,s} \times h}{M_s} \times \frac{U(\rho_f)}{2}$$

Trong trường hợp này $h = 0$ nên công thức này bị triệt tiêu

$$u_{12}(p) = 0$$

13/ Độ không đảm bảo đo của chu vi pittông $u_{13}(p)$

$$u_{13}(p) = \frac{p \times \gamma}{g \times M_s} \times \frac{U(C_s)}{2}$$

Trong công thức có:

$$\begin{aligned}p &= 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)} \\ g &= 9,78668927 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ \gamma &: \text{ hệ số sức căng bề mặt} = 0,0309 \text{ (N/m)} \\ U(C_s) &: \text{ĐKĐBĐ phép đo độ dài xác định chu vi của piston lấy} = 0,001 \text{ (m)} \\ M_s &= 28,93162 \text{ kg}\end{aligned}$$

Thay vào công thức ta được: $u_{13}(p) = 3,7 \text{ (Pa)}$.

14/ Độ không đảm bảo đo của hệ số sức căng bề mặt $u_{14}(p)$

$$u_{14}(p) = \frac{p \times C_s}{g \times M_s} \times \frac{U(\gamma)}{2}$$

Trong công thức có:

$$p = 6,897 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

$$g = 9,78668927 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\gamma \text{ (hệ số sức căng bề mặt)} = 0,0309 \text{ (N/m)}$$

$$U(\gamma): \text{ĐKĐBĐ hệ số sức căng bề mặt} = 0,00309 \text{ (lấy bằng 10 \%)}$$

$$M_s = 28,93162 \text{ (kg)}$$

C_s : Chu vi của piston

Thay vào công thức ta được: $u_{14}(p) = 5 \text{ (Pa)}$

Độ không đảm bảo đo tổng hợp của giá trị chuẩn P3124-3 $u_{B,s}(p)$:

Thành phần ĐKĐBĐ	u (Pa)	u^2 (Pa)
u_1	0	0
u_2	2483	6165289
u_3	819,4	671416,36
u_4	3449,5	11899050,25
u_5	1099	1207801
u_6	109,9653	12092,36914
u_7	344,85	118921,5225
u_8	143,6875	20646,09766
u_9	5,956832	35,48384194
u_{10}	195,6441	38276,62663
u_{11}	25,86375	668,9335641
u_{12}	0	0
u_{13}	3,763398	14,16316504
u_{14}	5,3	28,09

Sum = 20134239,9

$U_{\text{standard, p (Pa)}} = 4487,12 \quad k = 1$

$U_{\text{standard, p (Pa)}} = 8974,24 \quad k = 2$

$U_{\text{standard, p (\%)}} = 0,013 \quad k = 2$

Kết luận: Độ chính xác áp kế pittông P3124-3 là 0,013 %